MBO-Tree: 형상의 자연스러운 근사화와 효과적인 지역화를 지원하는 계층적 표현 방법

허봉식[†] · 김동규[††] · 김민환[†††]

요 약

본 논문에서는 평면 형상에 대해 자연스러운 근사화와 효과적인 지역화를 제공하는 새로운 계층적 표현 방법인 MBO-tree를 제안하였다. 곡선 근사화 방법으로 알려진 Douglas-Peucker 알고리즘을 기반으로 곡선 분할점의 근사화 오차를 분할점과 함께 계층적 트리 노드에 저장함으로써 근사화 척도로 활용하였으며, 보다 자연스러운 형상 표현을 위해 오차 조정 알고리즘도 제안하였다. MBO-tree의 오차 조정은 자식 노드의 오차가 부모 노드의 오차보다 크지 않도록 제한하는 것으로 구현하였다. 지역화를 위해서는 MBR(Minimum Bounding Rectangle)을 단순 확장한 MBO(Minimum Bounding Octangle)를 경계 영역으로 사용하였다. MBO는 다른 계층적 표현 체계의 경계 영역들에 비해 대상 객체에 밀착하여 효과적으로 포함할 뿐만 아니라, 계층간 경계 영역 포함 관계도 만족하기 때문에 점 포함 테스트나 형상간 교차 테스트 등과 같은 계층적인 기하학 연산에 매우 유용하다. 실험을 통해서 본 논문에서 제안한 방법이 strip tree, arc tree, HAL tree 등과 같은 다른 계층적 표현 체계에 비해 보다 자연스러운 근사화와 효과적인 지역화가 가능함을 확인하였다.

MBO-Tree: A Hierarchical Representation Scheme for Shapes with Natural Approximation and Effective Localization

Pong-Sik Ho[†], Dong-Kyue Kim[††] and Min-Hwan Kim[†††]

ABSTRACT

A hierarchical representation scheme for planar curves, MBO-tree, is proposed in this paper, which provides natural approximation and efficient localization. MBO-tree is based on the Douglas-Peucker algorithm (iterative end-point fit algorithm), but approximation errors that are stored with corresponding points in MBO-tree nodes and are used for abstraction measures are adjusted by force to eliminate unnatural approximation. The error adjusting is just making the approximation error of a node in a MBO-tree to be less than or equal to that of its parent. In point of localization, the bounding area of a curve is represented with a minimum bounding octangle (MBO), which can enclose the curve more compactly compared with those of other hierarchical schemes, such as the strip tree, the arc tree and the HAL tree. The MBO satisfies the hierarchical inclusion property that is useful for hierarchical geometrical operations, such as the point-inclusion test and the polygon intersection test. Through several experiments, we found that the proposed scheme was able to approximate more naturally and to localize more effectively.

Key words: Hierarchical Representation for Shapes, Shape Approximation, Shape Localization, Natural Representation

---

이 논문은 정보통신부에서 지원하는 대학IT연구센터 육성지원사업의 수행결과임.

[†] 정회원, 동의공업대학 영상정보과 조교수
[††] 정회원, 부산대학교 정보컴퓨터공학부 조교수
[†††] 종신회원, 부산대학교 컴퓨터공학과 교수

1. 서 론

이미지에서 객체의 외곽선(boundary)을 폴리곤으로 표현하는 것은 객체의 형상적 정보를 가장 잘 나타내는 방법이다. 이때, 폴리곤의 생성 단계에서부터 형상 정보를 잃어버리지 않기 위해 가능한 한 상세하게 표현하는 것이 일반적이다. 그러나, 실제 활용 과정에서 한 개의 상세한 표현만으로 사용하기에는 어려운 응용 분야들이 있다. 예를 들면, 형상 인식을 위한 처리에 있어서 중요하지 않은 상세한 부분까지도 처리하게 됨으로써 효율이 저하된다든지, 또는 작은 화면에 지도를 표시하는 경우에 상세하게 표현된 곡선들을 표시하려면 처리 시간도 길어질 뿐만 아니라 좁은 영역에 중첩되어 표시하기 때문에 내용도 알아보기 힘들게 된다는 것이다. 그러므로, 표시 영역의 크기를 고려하여 적절하게 단순화 한 곡선들로 표시하는 것이 처리 속도와 인식성(legibility)을 높이는 측면에서 모두 유리하다.

이에, 보다 적은 개수의 점으로 형상을 잘 표현하기 위해 곡선이나 형상의 중요한 특징들을 검출하기 위한 연구는 컴퓨터 비전, 컴퓨터 그래픽, 지도 제작 등의 분야에서 오래 전부터 이루어졌다. 특히, 컴퓨터 비전 분야에서는 곡률(curvature)을 기반으로 한 특징점(corner point) 추출을 위한 연구가 많이 시도되었으며, 곡선의 중요한 형상적 특성을 보다 정확하게 분석하기 위해서 스케일 공간 필터(scale space filtering) 기법을 응용한 방법들[1-2]이 제시되었다. 이 방법은 가우시안 필터(Gaussian filter)의 폭을 증가시키면서 곡선에 적용하여 비교적 상세한(즉, 덜 중요한) 정보들을 점차 제거하여 중요한 특징점들을 남기는 방법이다. 그러므로, 이 과정에서 곡선에 대한 상세한 표현부터 대략적인 표현까지를 얻을 수 있으며 이에 대한 다중 스케일 (multi-scale) 표현 연구는 [3-4] 등이 있다.

지도 제작(cartography) 분야에서도 곡선 단순화를 목적으로 비슷한 연구들이 이루어졌다. 이 분야에서의 단순화는 축척의 축소에 따른 지도 크기의 축소와 관련하여 중요하지 않은 정보를 단순화 하기 위한 목적에서 이루어지며[5-6], 이것은 컴퓨터 비전 분야에서의 특징점 추출 목적과도 일치한다. 이를 위해, 스케일 공간 필터나 곡률에 의존하지 않고 주어진 오차 한계를 만족하면서 곡선 자체를 재귀적으로 분할하면서 근사화 하는 방법들이 연구되었다. 지도 제작 분야에서 곡선 일반화 (curve generalization) 알고리즘으로 널리 알려진 Douglas-Peucker 알고리즘[7]이 대표적이며, 상황에 따라 곡선이나 형상을 다양한 정밀도로 표현하기 위해 재귀적 곡선 분할을 기반으로 한 계층적 근사화(hierarchical approximation) 표현에 대한 연구도 많이 이루어졌다[8-11].

계층적 표현(hierarchical representation)은 형상에 대한 매우 상세한 표현에서부터 아주 거친 표현까지 모두 가능한 것으로서, 응용에 따라 필요한 임의의 정밀도를 가진 표현을 생성하여 사용하는 것이 가능하다. 계층적 표현은 일반적으로 트리 구조로 구현되며, 트리의 자식 노드들은 부모 노드의 표현을 한 단계 더 상세하게 확장하여 표현한다. 한편, 계층적 표현의 특징은 근사화(approximation)와 지역화(localization)라는 두 측면에서 살펴볼 수 있다. 근사화는 형상의 전체적 특징을 유지하면서 중요하지 않은 정보들은 단계별로 제거하면서 단순화 하는 것이 목적이다. 지역화는 대상 객체의 위치와 크기에 관한 정보를 경계 영역(bounding area)으로 정의하고, 이것을 단계별로 나타내는 것이다. 경계 영역은 다음의 세 가지 측면에서 비교 평가될 수 있다. 첫째, 경계 영역에 대한 정의가 얼마나 간단한가 여부와, 둘째로 대상 객체에 얼마나 밀착하여 실제 크기에 가깝게 나타낼 수 있는가 여부이다. 마지막으로, 계층적 지역화에서 계층간 경계 영역간의 포함 관계(inclusion property)를 만족하는가 여부도 중요한 평가기준이 된다. 이러한 경계 영역의 특성들은 점 포함 테스트(point inclusion test)나 형상 교차 테스트 (shape intersection test) 등과 같은 계층적 기하학 연산의 효율성을 높이는데 매우 중요한 요소이다.

형상에 대한 근사화와 지역화 측면을 모두 고려한 계층적 표현에 대한 대표적인 연구로는 Ballard의 strip tree[8], Gnther의 arc tree[9,12], Veltkamp의 HAL tree[10] 등을 들 수 있다. 그러나, 형상의 특징을 고려하지 않은 근사화를 하여 부자연스러운 표현을 생성하거나[9,10] 근사화 정도를 나타내기 위해 선택한 척도(abstraction measure)가 부적절한 문제점[10]을 가지고 있다. 또한, 지역화를 위해 정의된 경계 영역이 비교적 복잡하고 효율적이지 못하며 계층간 포함 관계도 만족시키지 못하는 문제점[8,10]도 있다.

이에, 본 논문에서는 Douglas-Peucker 알고리즘을 기반으로 2차원 형상을 위한 새로운 계층적 표현(MBO-tree)을 제안하였다. 형상의 특징을 고려한 계층적 근사화 알고리즘과 부자연스러운 형상의 생성을 방지하기 위한 오차 조정 알고리즘도 제안하였다. 아울러 제안한 방법의 지역화에서는 MBR(Minimum Bounding Rectangle)을 확장한 MBO(Minimum Bounding Octangle)를 경계 영역으로 사용하였다. MBO는 다른 경계 영역들에 비해 정의가 간단하고, 효율적으로 대상 객체를 포함하며, 계층적 지역화에서도 계층간의 포함 관계를 만족시킨다.

논문의 2장에서 관련 연구에 대한 분석을 하였고, 3장에서는 본 논문에서 제안하는 방법에 대해 상세히 기술하였다. 4장에서 실험 결과를 보이고 마지막으로 5장에서 결론을 맺는다.

2. 관련 연구 분석

2.1 근사화

일반적으로, 계층적 표현은 형상을 여러 단계로 근사화 하여 트리 구조로 표현한다. 그리고, 이 트리로부터 생성 가능한 모든 정밀도의 표현들은 원래 형상의 중요한 특징들을 가능한 한 잘 나타내야 한다. 이를 위해서는 계층적 표현의 근사화 알고리즘이 원 형상의 특징들을 잘 반영할 수 있도록 설계할 필요가 있다.

Strip tree[8]는 곡선의 양 끝점을 연결한 근사화 직선에 평행하면서 곡선을 포함하는 최소외접사각형(MBR)을 root strip으로 결정한다. 그리고, 이 strip에 닿는 곡선의 한 점을 기준으로 곡선을 분할하고 분할된 두 곡선에 대해 재귀적으로 근사화 한다. 이 방법은 관련 연구들 중에서 형상의 특징을 가장 잘 고려하여 근사화 하고 있으나 굴곡이 심한 형상의 경우에는 부자연스러운 표현이 생성되는 단점이 있다(그림 1). Strip tree에 의하면 곡선 AB는 두 개의 선분 AP와 선분 PB로 근사화 되지만 원래 곡선의 모양을 고려하면 선분 AP, PQ, QB로 근사화 되는 것이 보다 자연스럽다.

Arc tree[9]는 곡선 길이의 1/2이 되는 점을 기준으로 곡선을 단순히 분할해 나가면서 근사화를 하기 때문에 상대적으로 낮은 정밀도의 표현에서 형상의 특징을 잘 표현하지 못할 가능성이 높다. 그림 2에서

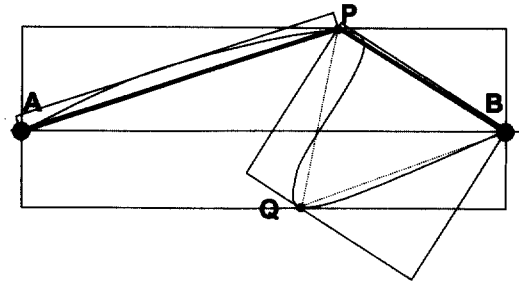



그림 1. Strip tree의 부자연스러운 근사화 예

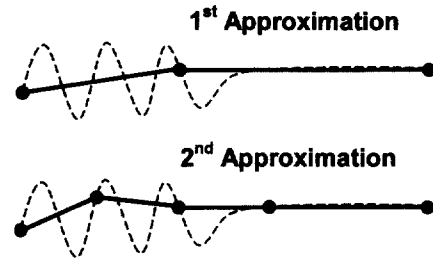



그림 2. Arc tree의 형상 특징이 고려되지 않은 근사화 예

점선으로 된 원래 곡선의 1/2이 되는 점을 이용한 두 개의 선분으로 첫 번째 근사화가 이루어지고, 분할된 두 곡선은 재귀적으로 분할되어 근사화가 되었다. 네 개의 선분으로 이루어진 두 번째 결과를 보면 원래 곡선의 모양과는 달리 거의 직선에 가깝게 근사화 되었다는 것을 알 수 있다.

HAL tree[10]에서의 근사화는 그림 3에서와 같이 원호 또는 직선에 의해 표현되는 경계 영역에 접하는 점(disc-touching point)을 기준으로 곡선을 분할하면서 계층적 근사화를 한다. 그러나, 그림 3(a)의 예에서 볼 수 있듯이, 상대적으로 중요하지 않은 점이 경계 영역에 접한다는 이유만으로 분할 점으로 선택될 수 있어, 결과적으로 곡선의 전체적 특징이 반영되지 않은 부자연스러운 근사화 표현이 나타나기도

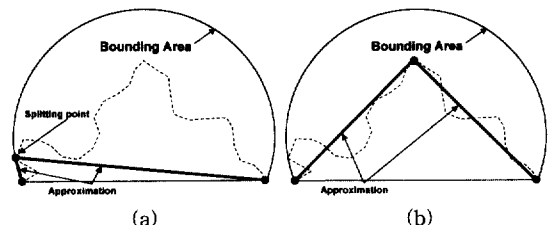



그림 3. (a) HAL tree의 잘못된 근사화 예, (b) 바람직한 근사화

한다. 이 경우에는 그림 3(b)에서와 같이 근사화 하는 것이 보다 더 바람직하다.

또한, HAL tree는 경계 영역의 크기에 기반 한 값을 근사화 오차로 정의하고 있다(그림 4(a)). 그러나, 이것은 그림 4(b)와 같은 경우에는 실제 오차보다 크게 나타내게 됨으로써 일관성 있는 근사화 척도(abstraction measure)로 사용하기에는 한계가 있다.

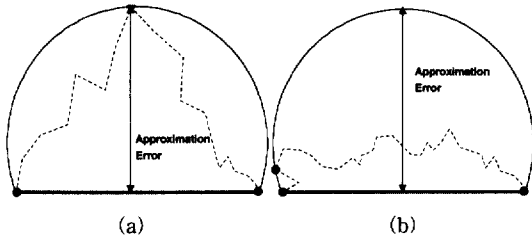



그림 4. (a) HAL tree의 근사화 오차, (b) 바람직하지 못한 경우의 예

2.2 지역화

지역화란 객체의 위치와 크기에 관한 정보를 그 객체를 포함하는 경계 영역을 정의함으로써 간단하게 나타내는 것이다. 이때, 경계 영역이 대상 객체를 얼마나 밀착되게(compactly) 둘러싸고 있는가는 계층적 지역화의 성능을 평가하는데 매우 중요한 요소이다. 왜냐하면 경계 영역이 보다 밀착되어 있을수록 점 포함 테스트나 형상간 교차 테스트 등과 같은 계층적 기하학 연산을 더 효율적으로 수행할 수 있기 때문이다. 한편, 계층적 처리에서 계층간의 경계 영역간의 포함 여부도 불필요한 연산을 방지하는데 효과적이므로 중요하다.

Strip tree[8]는 곡선의 양 끝점을 연결하는 직선에 평행하면서 곡선을 밀착하여 둘러싸는 사각형(strip)으로 정의된다(그림 5(a)). 그러나, strip은 그림 5(b)와 같은 경우에는 곡선 전체를 포함하지 못하는 한계가 있으며, 계층적 지역화에서는(그림 5(c)) 자식 strip들(S_2, S_3)이 부모 strip 영역(S_1)을 벗어날 수 있어 계층적 포함 관계를 만족시키지 못한다. 이는 불필요한 연산을 증가시켜 계층적 처리 효율을 저하시키는 중요한 요인이 된다. 그림 5(c)를 보면, 두 형상 S와 T의 루트 strip S_1과 S_T에 대한 교차 테스트에서 서로 교차하였으므로, 크기가 더 큰 S_1을 S_2와 S_3로 상세하게 표현한 후에 다시 S_T와 교차 테스트를 한

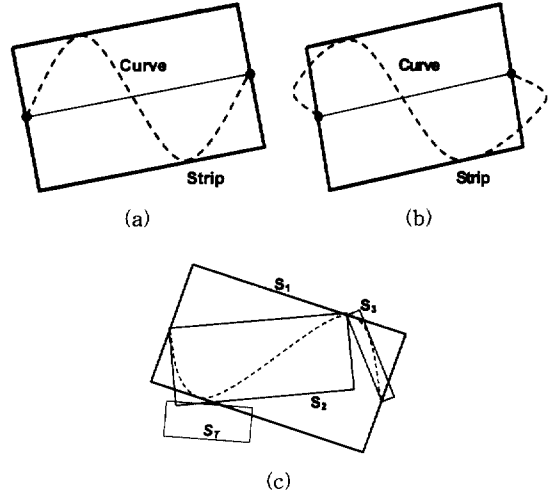



그림 5. (a) Strip 정의, (b) Strip이 곡선을 포함하지 못하는 경우, (c) 두 단계의 경계 영역

다. 이때, 만약 S_2가 S_1에 완전히 포함되었다면 두 형상간의 교차 테스트가 끝날 수 있지만, 이 경우에는 그림에서처럼 S_2가 S_1의 외부에서 S_T와 다시 교차하고 있기 때문에 S_2를 한 단계 더 상세하게 표현하여 테스트를 계속 진행해야 한다. 이와 같이 strip에서는 경우에 따라 불필요한 연산을 계속해야 하는 문제점을 내포하고 있다.

Arc tree[9]의 경계 영역은 그림 6에서와 같이 대상 곡선(c_1)의 두 끝점을 초점으로 하고, 주축의 길이가 곡선의 길이와 같게 되는 타원(e_1)으로 정의된다. 그러나, 곡선 c_2는 전체적인 크기가 c_1과 비슷함에도 불구하고 많은 굴곡 때문에 전체 길이가 길어져 해당 타원(e_2)의 크기는 필요 이상으로 크게 설정되는 단점이 있다. 그러나, Arc tree의 타원은 계층적 지역화에서 계층 간의 포함 관계는 만족시킨다.

마지막으로, HAL tree[10]의 경계 영역은 앞에서 언급한 바와 같이 비교적 복잡하게 정의되는데, 곡선

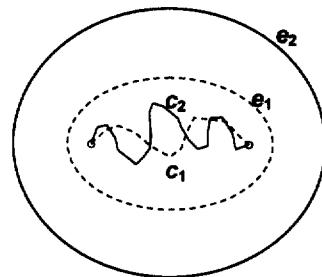



그림 6. Arc tree의 경계 영역(타원)

을 포함하는 두 원의 교집합 또는 반 평면과 원의 교집합으로 정의된다(그림 7). 또한, 그림 8에서와 같이, HAL tree의 경계 영역은 strip tree의 경우와 마찬가지로 계층적 포함 관계를 만족시키지 못한다.

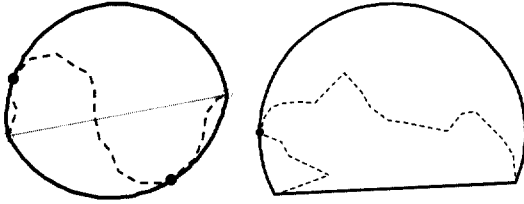



그림 7. HAL tree의 경계 영역들

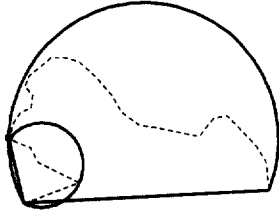



그림 8. HAL tree의 계층적 포함 관계 불만족 예

3. 제안된 계층적 표현: MBO-tree

3.1 형상의 계층적 근사화

본 논문에서 제안하는 계층적 표현의 근사화 방법은 지도 제작 분야에서 곡선 근사화 방법으로 널리 알려진 Douglas-Peucker 알고리즘[7]을 기초로 하여, 닫힌 곡선(closed curve) 형태의 2차원 형상도 근사화 할 수 있도록 확장하여 구현되었다. Douglas-Pecuker 알고리즘은 열린 곡선(open curve)에 대한 형상의 특징을 잘 보존하면서 주어진 오차 한계 이내의 단일 근사화 표현을 생성한다. 본 논문에서는 근사화 과정의 중간 단계들을 트리 구조로 표현함과 동시에, 선택되는 곡선 분할점의 근사화 오차를 속성값으로 트리 노드에 저장함으로써 실질적인 근사화 오차 기반의 계층적 표현을 구현하였다.

제안한 근사화 과정을 살펴보면, 닫힌 곡선을 도형에 대한 2차 모멘트를 최소화 하는 직선[13]에 의해 두 개의 열린 곡선으로 먼저 분할한다. 이 분할 직선은 도형의 이동, 회전, 크기 변화에 무관하게 결정되기 때문에 근사화 결과로 얻어지는 계층적 표현 또한 이들 변환에 상관없이 일관되게 표현할 수 있다. 이것은 차후에 제안한 방법을 형상 인식에 활용하기 위해 선택한 것이다. 이 직선에 의해 분할된 두 개의 열린 곡선은 그림 9와 같은 근사화 과정을 독립적으로 거쳐 트리로 표현한 후에 다시 한 개의 트리로 병합하여 표현한다.

이제 임의의 허용 오차 E를 가지는 근사화 곡선은 위에서 얻은 계층적 트리에서 속성값이 E이상 되는 노드들만 선택함으로써 생성할 수 있다. 그림 10은 허용 오차 E가 45와 10으로 주어진 경우에 대해, 트리에서 선택된 노드들의 범위와 이들로 구성된 근사화 곡선을 각각 보여주고 있다.

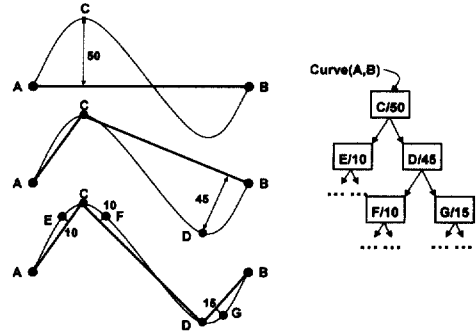



그림 9. 제안된 계층적 근사화 과정

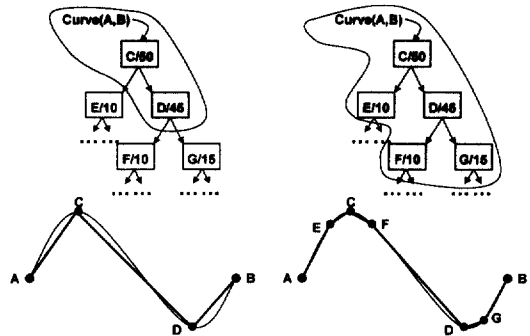



그림 10. 계층적 표현을 이용한 근사화 곡선 생성 예

3.2 자연스러운 표현을 위한 오차 조정 알고리즘

위의 예에서 보면, 허용 오차 E의 근사화 곡선을 생성하는 과정은 어떤 노드의 속성값이 E보다 작은 경우 그 아래의 모든 자식 노드들의 속성값도 E보다 작다는 것을 전제로 하여야만 가능한 것이다. 그러나, 그림 11의 경우는 근사화 하는 과정에서 자식 노드 Q의 속성값 50이 부모 노드 P의 속성값 30보다

더 커지는 경우도 발생할 수 있다는 것을 보여준다. 이것은 임의의 허용 오차를 가진 근사화 표현을 생성할 때, 루트 노드부터 모든 단말 노드까지 트리 전체를 검색해야 한다는 것을 의미한다. 그러므로, 곡선 생성을 위한 트리 검색에 시간이 많이 걸릴 뿐만 아니라, 얻어진 곡선 역시 부자연스러운 형상이 된다. 예를 들어, 그림 11의 트리에서 허용 오차 50에 대한 근사화 곡선을 생성하려면 루트 노드 P에서 검색이 끝나는 것이 아니라 그 아래에 있는 모든 노드들까지 모두 검색한 후에 근사화 곡선을 생성하게 된다(그림 12(a)).

이에, 본 논문에서는 이 문제를 해결하기 위해 간단한 속성값 조정 알고리즘을 제안하였다. 계층적 트리를 생성하는 과정에서 부모 노드의 속성값보다 큰 값을 가지는 자식 노드가 발생하는 경우에는 강제로 부모 노드의 값을 물려 주게 하였다(그림 12(b)). 이렇게 함으로써 얻어지는 효과는 자식 노드가 부모 노드보다 먼저 근사화 표현에 포함되는 경우를 배제하고, 부모 노드가 곡선 표현에 포함되는 경우에 한해서만 같이 포함되도록 하였다. 이렇게 하면 생성된 곡선이 보다 자연스러워질 뿐만 아니라, 결과적으로 허용 오차보다 작은 속성값을 가진 노드 아래는 검색할 필요도 없어지게 된다.

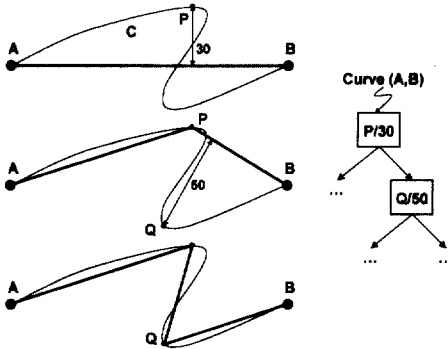



그림 11. 부자연스러운 계층적 근사화 생성 예

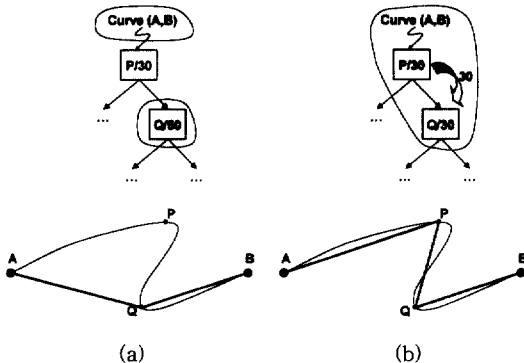



그림 12. (a) 부자연스러운 근사화 곡선 생성, (b) 자연스러운 표현 알고리즘 적용 예

3.3 MBO를 이용한 지역화

곡선이 n개의 점 $v_1(x_1, y_1)$, $v_2(x_2, y_2)$, $v_n(x_n, y_n)$으로 구성되어 있다고 했을 때, MBR(Minimum Bounding Rectangle)은 네 개의 값, x_{min}, x_{max}, y_{min}, y_{max}으로 정의된다. 본 논문에서 사용한 경계 영역 MBO (Minimum Bounding Octangle)는 MBR을 단순 확장한 형태로서 MBR의 네 개의 값에 p_{min}, p_{max}, m_{min}, m_{max}를 추가한 8개의 값으로 표현된다(그림 13(a)). 여기서 p와 m은 $(x + y)$와 $(y - x)$를 각각 나타낸다. 이와 같이 MBO는 좌표축과 평행한 선분과 좌우 대각선으로 구성되어 있어 수치적으로 다루기에 편할 뿐만 아니라, 다른 계층적 표현에서의 경계 영역들에 비해 상대적으로 대상 객체에 대한 높은 밀착도를 보인다. 이것은 MBR의 단점인 사각형 귀퉁이에서의 불필요한 공간을 제거했기 때문이다. 그림 13(b)는 임의의 한 곡선에 대한 경계 영역들을 비교하여 나타낸 것으로서, 비록 이 곡선이 모든 경우를 대표하는 것은 아니지만 MBO의 높은 밀착성을 직관적으로 확인하기에 충분하다.

또한, MBO는 계층적 지역화에서 계층간 경계 영역의 포함 관계도 만족한다. 그림 14는 포함 관계를 만족하는 arc tree와 MBO-tree 방법으로 같은 곡선에 대하여 3단계의 지역화 결과를 나타내고 있다. Arc tree에 비해 MBO-tree가 훨씬 효과적인 지역화를 하고 있음을 확인할 수 있다.

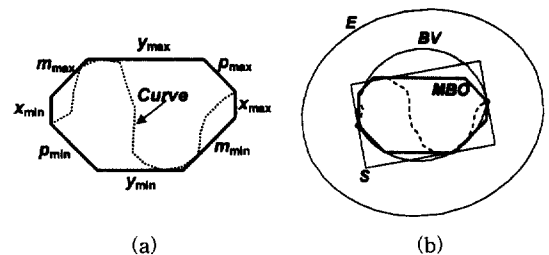



그림 13. (a) MBO의 정의, (b) 경계 영역들간의 밀착성 비교

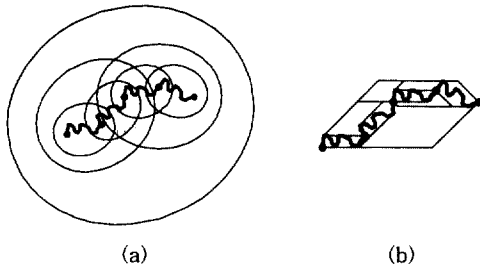



그림 14. (a) 타원의 계층적 지역화, (b) MBO의 계층적 지역화

4. 실험 및 토의

4.1 자연스러운 계층적 근사화

그림 15는 3,140개의 점으로 구성되어 있는 원 형상(가는 실선)을 각각 20개의 점으로 표현한 것이다. 그림 15(a)는 오차 조정 알고리즘을 적용하지 않은 계층적 표현으로부터 생성된 형상이고, 그림 15(b)는 오차 조정 알고리즘이 적용되어 생성된 것이다. 두 번째 그림이 거미의 다리 부분에서 원 형상의 전체적 특징을 보다 자연스럽게 나타내고 있음을 알 수 있다.

실험 결과를 전체적으로 분석해 보면, 오차 조정 알고리즘을 적용하여 생성한 계층적 표현이 그렇지 않은 것에 비해 다음과 같은 특성을 보였다. 첫째, 같은 허용 오차에 대한 표현의 경우에 보다 적은 개수의 점으로도 자연스럽게 형상을 표현하였다. 둘째, 같은 개수의 점으로 형상을 표현하는 경우에는 이것의 생성에 필요한 허용 오차가 상대적으로 낮게 나타났다. 이것은 오차 조정 알고리즘이 자식 레벨의 속성값이 부모 레벨의 값보다 커지는 것을 억제하면서 부모 레벨의 작은 값을 강제로 물려주었기 때문이다.

그림 16은 1,921개의 점으로 구성된 형상에 대한

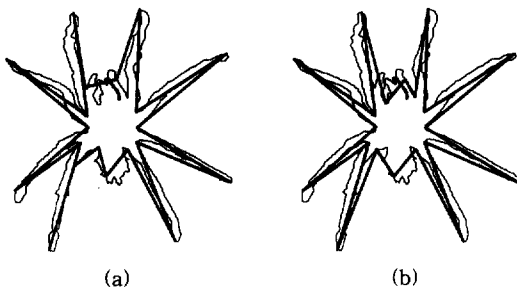



그림 15. (a) 부자연스러운 표현, (b) 자연스러운 표현 (MBO-tree)

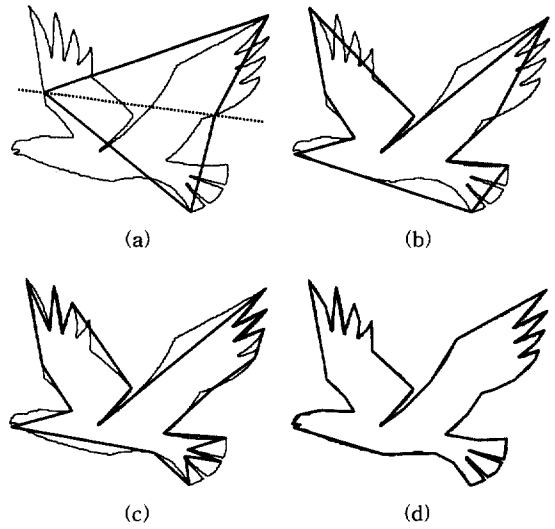



그림 16. MBO-tree에 의한 여러 단계의 근사화 예
(a) Th.=131 (4 points), (b) Th.=48 (11 points), (c) Th.=7 (38 points), (d) Th.=3 (53 points)

계층적 표현으로부터 허용 오차 131, 48, 7, 3에 대해 생성한 근사화 표현들을 각각 보여주고 있으며, 그림 16-(a)의 점선은 형상의 분할 직선을 나타낸다. 비교적 복잡한 형상임에도 불구하고 각 허용 오차 범위 내에서 형상 전체의 내용을 잘 표현하고 있음을 알 수 있다.

4.2 계층적 근사화 방법들간의 근사화 결과 비교

다음 그림들(그림 17부터 그림 20까지)은 전갈 형상을 arc tree, HAL tree, strip tree, MBO tree 등의 계층적 표현 방법으로 각각 근사화 한 결과들 중에서 네 가지 경우를 비교한 것이다. 2,667개의 점으로 구성되어 있는 비교적 복잡한 전갈 형상의 특징을 각 계층적 표현 방법들이 얼마나 잘 반영하는 가를 살펴

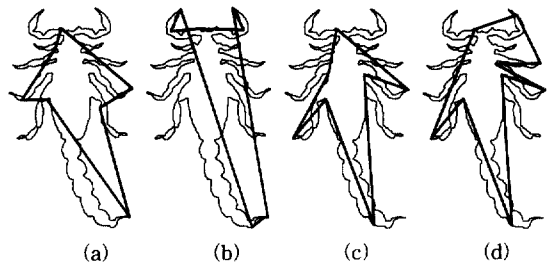



그림 17. 계층적 표현 결과의 비교 1 (8 points)
(a) Arc tree, (b) HAL tree, (c) Strip tree, (d) MBO tree

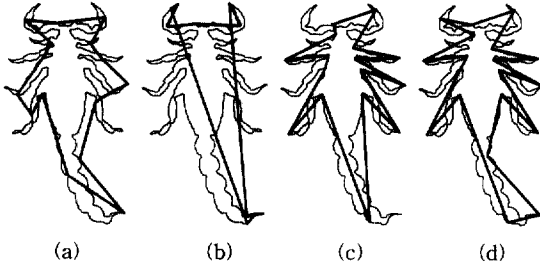



그림 18. 계층적 표현 결과의 비교 2 (16 points)
(a) Arc tree, (b) HAL tree, (c) Strip tree, (d) MBO tree

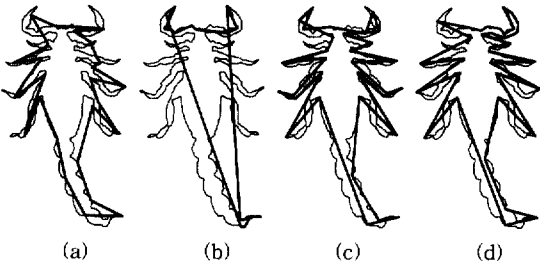



그림 19. 계층적 표현 결과의 비교 3 (32 points)
(a) Arc tree, (b) HAL tree, (c) Strip tree, (d) MBO tree

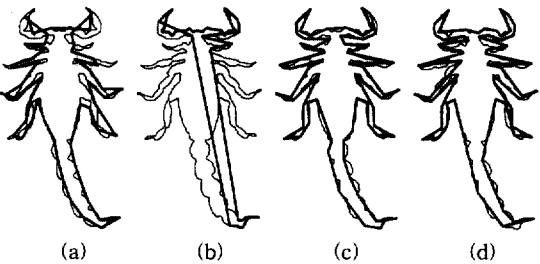



그림 20. 계층적 표현 결과의 비교 4 (64 points)
(a) Arc tree, (b) HAL tree, (c) Strip tree, (d) MBO tree

보기 위해 같거나 비슷한 개수의 점으로 구성된 표현들을 서로 비교 하였다. 같은 개수의 점으로 비교하지 못한 이유는 계층적 표현 방법의 구현 특성 때문이다. 즉, 본 논문에서 제안하는 MBO tree의 경우는 자연스러운 표현을 위해 오차 조정 과정에서 같은 오차 값을 가진 노드들이 증가하기 때문이며, arc tree와 HAL tree의 경우는 근사화 표현의 생성을 트리의 레벨 단위로 하기 때문이다.

그림 17은 8개의 점으로 구성된 표현들을 arc tree, HAL tree, strip tree, MBO tree 순서대로 보여주고 있다. 그림 18부터 그림 20까지는 같은 순서대로 16, 32, 64 개의 점들로 구성된 형상들을 각각 나타내고 있다. 근사화 표현을 위한 점의 개수가 같거나 비슷함에도 불구하고 근사화 표현의 형상 반영 정도의 차이가 크게 나는 것을 볼 수 있다. Arc tree는 점의 개수가 증가함에도 불구하고 형상의 중요한 특징이라고 할 수 있는 코너 점(corner point)들을 잘 표현하지 못하고 있으며, HAL tree는 형상 표현을 위한 점들이 형상 전체에 골고루 분포되지 못하여 형상의 특징들을 균일하게 나타내지 못할 뿐만 아니라 형상 스스로 꼬임을 내포하는 경우도 발생하고 있는 것을 확인할 수 있다. 이에 비해 strip tree와 MBO tree는 비교적 형상의 특징을 잘 나타내고 있다고 할 수 있으나 오차 조정 과정을 거친 MBO tree가 strip tree에 비해 형상을 보다 자연스럽게 표현하고 있음을 알 수 있다.

4.3 MBO를 이용한 계층적 지역화

그림 21은 MBO tree와 arc tree를 이용하여 그림 16의 형상에 대한 계층적 지역화 결과를 비교한 것이다. Strip tree와 HAL tree의 경우는 계층간 경계 영역 포함 관계가 성립되지 않기 때문에 비교에서 제외하였다. 그리고, 지면 관계상 arc tree의 결과를 상대적으로 작게 축소해서 그림에 나타내었다. 그림에서 주목할 것은 MBO tree에서는 루트 노드에서 3~4단계만 내려가면 원 형상에 거의 근접한 경계 영역을 얻을 수 있지만, arc tree의 경우는 이 보다 많은 단계 수를 필요로 할 뿐만 아니라, 경계 영역들간의 중복도 많이 되고 있음을 알 수 있다. 이것은 계층적인 기하학 연산량을 증가시키는 결과를 가져오므로 arc tree의 타원을 이용한 계층적 지역화에 비해 MBO를 이용한 것이 훨씬 효율적임을 알 수 있다.

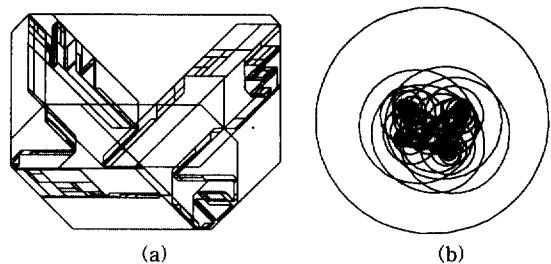



그림 21. 계층적 지역화 예
(a) MBO tree, (b) Arc tree

5. 결 론

본 논문에서는 2차원 형상에 대한 새로운 계층적 표현을 제안하였다. Douglas-Peucker 알고리즘을 기반으로 하여 형상의 특성을 고려한 계층적 근사화 알고리즘으로 확장하였으며, 모든 근사화 레벨에서 보다 자연스러운 형상 표현이 될 수 있도록 오차(속성값) 조정 알고리즘도 제안하여 그 유용성을 실험을 통해 확인하였다. 또한, MBO를 경계 영역으로 이용하여 계층적 지역화를 구현하였다. MBO는 arc tree의 타원, strip tree의 strip, HAL tree의 bounding volume 등과 같은 타 방법의 경계 영역들에 비해 대상 객체를 아주 효과적으로 포함할 뿐만 아니라, 계층간 경계 영역 포함 관계도 만족하여 계층적 처리 속도를 높일 수 있다.

향후 연구에서는, 계층적 표현에서 발생할 수 있는 꼬임(self-intersection)의 발견과 해결방안을 개발하여 실제 응용에서 보다 유용하게 활용할 수 있도록 할 것이다. 아울러, MBO-tree를 형상 인식 분야에서도 활용하기 위해, 주어진 곡선에서의 특징점들과 MBO-tree의 분할점과의 관련성을 규명하여 MBO-tree를 수정 보완할 것이다.

참 고 문 헌

[1] S. C. Pei and C. N. Lin, The detection of dominant points on digital curves by scale-space filtering, *Pattern Recognition,* Vol. 25, No. 11, pp. 1307-1314, Pergamon Press, 1992.

[2] A. Rattarangsi and R. T. Chin, Scale-based detection of corners of planar curves, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* Vol. 14, No. 4, pp. 430-449, 1992.

[3] F. Mokhtarian and A. Mackworth, Scale-based description and recognition of planar curves and two-dimensional shapes, *IEEE Trans. on Pattern Analysis and Machine Intelligence,* Vol. 8, No. 1, pp. 34-43, 1986.

[4] P. L. Rosin, Representing curves at their natural scales, *Pattern Recognition,* Vol. 25, No. 11, pp. 1315-1325, 1992.

[5] A. H. Robinson, et. al., *Elements of Cartography,* 6th ed., John Wiley & Sons, 1995.

[6] J. C. Muller, J. P. Lagrange and R. Weibel, *GIS and Generalization,* Talyor & Francis, 1995.

[7] D. H. Douglas and T. K. Peucker, Algorithms for the reduction of the number of points required to represent a digitized line or its caricature, *Canadian Cartographer,* No. 10, pp. 112-122, 1973.

[8] D. H. Ballard, Strip trees: A Hierarchical Representation for Curves, *Communications of ACM,* Vol. 24, No. 5, pp. 310-321, 1981.

[9] O. Gnther and E. Wong, The Arc Tree: An Approximation Scheme to Represent Arbitrary Curved Shapes, *Computer Vision, Graphics, and Image Processing,* Vol. 51, pp. 313-337, 1990.

[10] R. C. Veltkamp, Hierarchical approximation and localization, *The Visual Computer,* Vol. 14, pp. 471-487, Springer-Verlarg, 1998.

[11] P. Oosetrom and J. Bos, An object-oriented approach to the design of Geographic Information Systems, *Computers & Graphics,* Vol. 13, No. 4, pp. 409-418, 1989.

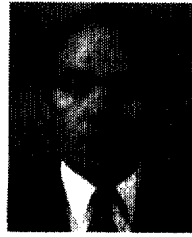
[12] O. Gnther and S. Dominguez, Hierarchical Schemes for Curve Representation, *IEEE Computer Graphics and Application,* Vol. 13, Issue 3, pp. 55-63, 1993.

[13] R. Jain, R. Kasturi and B.G. Schunck, *MACHINE VISION,* McGraw-Hill, 1995.

허 봉 식

1991년 부산대학교 컴퓨터공학과 학사
1993년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
2002년 부산대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사
1996년~현재 동의공업대학 영상정보과 조교수
관심분야 : 화상 처리, 패턴 인식

김 동 규

1992년 서울대학교 컴퓨터공학과 학사
1994년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
1999년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사
1999년 9월 부산대학교 컴퓨터정보통신연구소/BK 사업단 기금교수
2001년~현재 부산대학교 정보컴퓨터공학부 조교수
관심분야 : 컴퓨터 보안 및 암호학, Bioinformatics

김 민 환

1980년 서울대학교 전기공학과 학사
1983년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 석사
1988년 서울대학교 대학원 컴퓨터공학과 박사
1991년~1992년 Univ. of Washington 객원연구원
1986년~현재 부산대학교 컴퓨터공학과 교수
관심분야 : 화상처리 및 이해, 칼라공학